

医学部進学課程の化学実習実験に対する工夫(1) : 簡単なエレクトロニクスの利用(1) : イオン濃淡電 地の測定

著者名(日)	永松 一夫
雑誌名	埼玉医科大学進学課程紀要
巻	2
ページ	27-31
発行年	1982-06-30
URL	http://id.nii.ac.jp/1386/00000053/

医学部進学課程の化学実習実験に対する工夫(1)

簡単なエレクトロニクスの利用(1)

イオン濃淡電池の測定

化学教室 永 松 一 夫

最近、手軽に利用できるようになった電子技術を、学生の実習実験に適用し、在来は相当の習練を要した測定を簡易化することを試みている。

それらの一つとして、今回は計数型電圧計を用いた、イオン濃淡電池の測定を報告する。

実習の課題としては順調に運営されているが、(1)測定が簡単になりすぎていないか。(2)専門課程での実習と近接しすぎてはいないか。の2点が、かえって疑問となっている。

1. はじめに

学生のための化学実習実験(第1学年前期、物理化学関係)に、マイクロエレクトロニクス技術*を応用することによって、本学では新しいやり方による実習テーマをいくつか設定している。以下、これらの新しいやり方について逐次報告してゆきたい。

2. 電子技術と実習実験

自然科学系の学科では、実習実験は教科の内容を身体で会得する上から必要不可欠の重要性を持ち、課題の設定が適切であれば、その効果も非常に大きいことは異論のないことと言えよう。

そのため、実習実験については、何を、どのように行なうかについて、古くから多くの教科書があり、それ故にまた、個々の課題もそれぞれ長い伝統を持つものが少なくない。こうした課題は、数多くの教室でくり返し実施されてきた伝統と、経験に裏付けられているために、課題としては正

に完成の域に達していて、改良を加える余地を見出すことはほとんど出来なかった。

一方、ここ10年程の間の技術一般をふり返ってみると、最も大きく変化したものの一つにマイクロエレクトロニクスがある。この分野の発展の有様は、いろいろな形で身近にみることができるが、例えば「卓電」と通称されるものが世に登場したのは1960年代の後半ごろであり、その頃は1桁1万円(10桁の四則演算を行なう型のものが1台10万円)が目やすであった。これが数年の中に1桁数百円にまで価格低下すると同時に、各種の関数計算の機能も組みこまれるようになった。また現在、この分野で技術進歩の物尺として最も価格競争の激しい代表的な素子の64KB-RAM(Random Access Memory)は、1980年に1個1万円の壁を破ったが、翌81年には早くも1個2,000円以下のものが現われてくる程である。

このような電子技術をふまえて、学生に課している実習実験をふり返ってみると、実習という古典的な性格の故もあって、近年の電子技術との間には、相当の開きのあることが認められる。実習の教科書も次々に新しい良書が刊行され、また昔からの名著の改訂¹⁾も行われているが、それらに記載されている電子回路を通観してみると、固体素子として温度検出用のサーミスターが出てく

* 厳密な定義はないが、ここでは半導体の集積回路(I.C. ~ L.S.I.)を中心として発展しつつある集約小型化、低価格化の方向に進む現代の電子機器の技術をまとめて表現した。文中では略して電子技術という言葉も同様の意味に用いる。

る程度で、歴史的な三極真空管か、あるいは MT 型真空管の時代にとどまってしまうようである。

3. 計数表示型電圧計について**

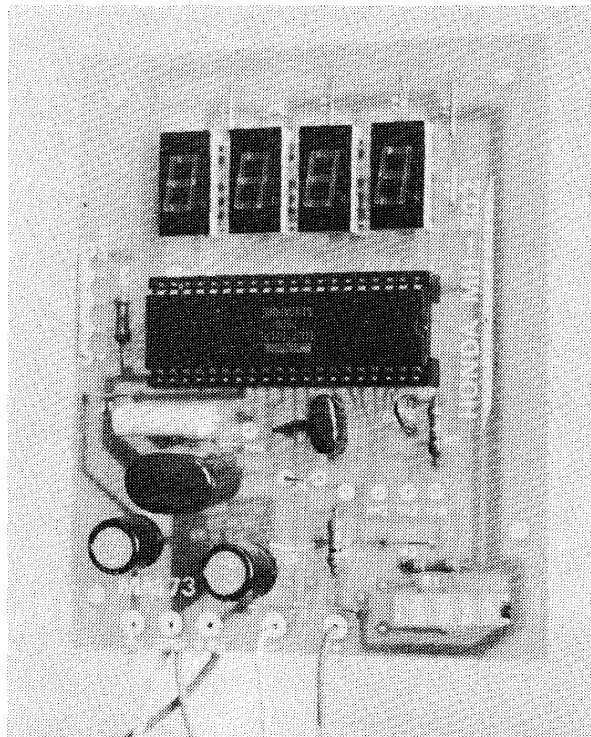
マイクロエレクトロニクスの利用としては各種のものが考えられるが、今回は先ず計数型電圧計を導入した例を報告する。計数型電圧計も型式は多様であるが、比較的簡単なものとしては $3\frac{1}{2}$ 桁型と呼ばれるものがある。これは計数による表示が 0.000 から 1.999 ボルトの範囲に限られているものであって、下 3 桁については 0～9 の数字を全て表示するが、最上位の桁については 0 又は 1 のいずれしか表示する機能がないところから $3\frac{1}{2}$ 桁と呼ばれるものである。しかし、これでも最大値の 1.999 に対して、最小値 0 まで 0.001 きざみで表示するので、ほぼ $1/2000$ (0.5%) の確度を有している。そして、もう一つの特徴はメーターとしての内部抵抗が公称 $10^{12}\Omega$ と非常に大きく、実際に使用してみても略々公称どおりの特性をもっていることである。

集積回路素子を僅か 1 個用いただけの、この型の計数型電圧計の、本目的に対する大きな利点は、過大な電圧を若し加えたとしても、全ての数字が点滅して(製品の型式によっては全数字が消えて)過大な信号が入ってきていることを示すのみで、メーター自身が破損することがない。また、+、- の極性を逆に結線した場合も、数字の前にマイナスの記号が現われるだけで、これ又メーターを損傷することがない。要するに、何をつないでも、入力信号が直流電圧で 1.999 ボルト以下の場合にだけは 0.5% の精度で (+、- の極性と共に) 確実に表示し、かつその他の場合でも破損することがないという特性である。このような特性は、どんな間違った苛酷な使い方をされるかもしれないという学生実験に対しては正に最適の特徴と言え

** digital voltmeter, デジタルボルトメーター, 通称「ディジ・ボルト」と言われるが、片仮名の用語を減らすため敢て「かたい」訳語を用いる。以下、本文では「計数型電圧計」と略す。



第 1 図 計数型電圧計用の I.C.



第 2 図 キットを用いて組立てた計数型電圧計。

よう。

この種の電圧計が市場に現われてからすでに相当の年月になるが、なかでも部品だけをまとめて販売している(いわゆるキットと呼ばれる)ものを用いれば、安価に入手できて、数時間の配線作業で便利に利用できる。

われわれの場合は、このキットを購入して計数型電圧計を組み立てた。第 1 図はこれに使われている集積回路素子であり、第 2 図はキット組み立て終って完成したものを示している。組立てたも

のの大きさは9cm×11cmで、ハガキより小さい。実際には、これを電源と共に手作りの木箱に納めて扱い易ようにした(第5図参照)。

4. イオン濃淡電池への応用

実習実験の課題としては、教科書あるいは講義で習っただけでは、理論は理解できるが、本当にそのような現象があるのかと疑問を感じる様なものを、各自で実現してみて、ある程度の驚異の念を抱かされるようなものが好ましいのではないかと考えている。その上、物理化学の立場からは、そのような実験で得られる測定値が、理論値と一致しやすいものが望ましい。

このような観点から、計数型電圧計の応用のはじめとして、イオン濃淡電池の起電力の測定をとりあげた。

イオン濃淡電池は、正負の電極が共に同一の金属で、電極を浸している電解質溶液の成分がまた同一であって、ただ2つの溶液の電解質の濃度が異るだけで起電力が生じてくるものである。イオン濃淡電池の概要を第3図に示す。この図では、起電力が生じていることを示すために、ごく模式的に電圧計を描いておいた。

イオン濃淡電池の起電力 $\Delta\phi$ は、通称「Nernstの式」と呼ばれる式から次のように現わされる²⁾。

$$\Delta\phi(\text{ボルト}) = \frac{RT}{zF} \ln \frac{\gamma_2 c_2}{\gamma_1 c_1}$$

ここで R は気体定数

(8.314クーロン・ボルト)

T は絶対温度

z はイオンの価数

F はファラデー定数

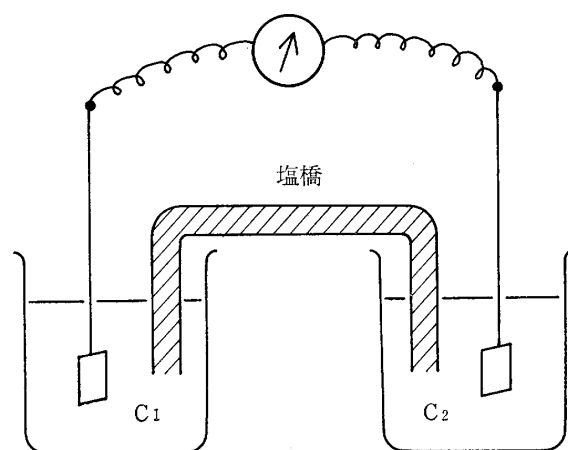
(96500クーロン/当量)

γ は活量係数

c はイオンの濃度

である。

このイオン濃淡電池は、まず第一に現象それ自身として(Nernst式の理論的必然として予知されるものであるが)同一物質の溶液で、ただその濃度差だけで起電力が生じると言うのは、初学者



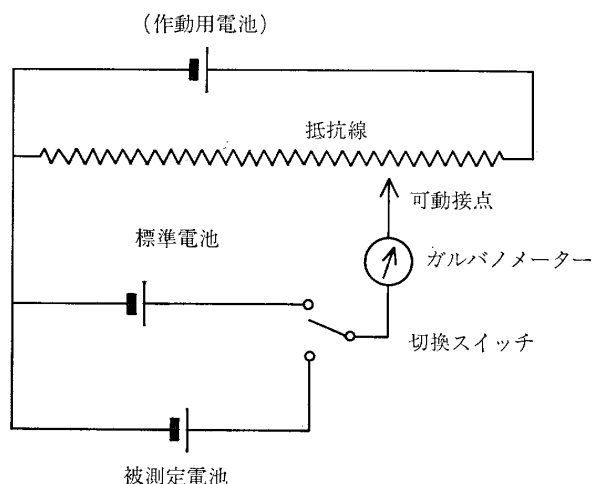
第3図 イオン濃淡電池の原理。

(学生たち)にとってはやゝ不思議な感を抱かせるものであり、その上、電解質溶液を論じる場合にはよく理解しておかねばからぬ「活量係数」が、あからさまに含まれている点でも大いに教訓的な内容を持っている。

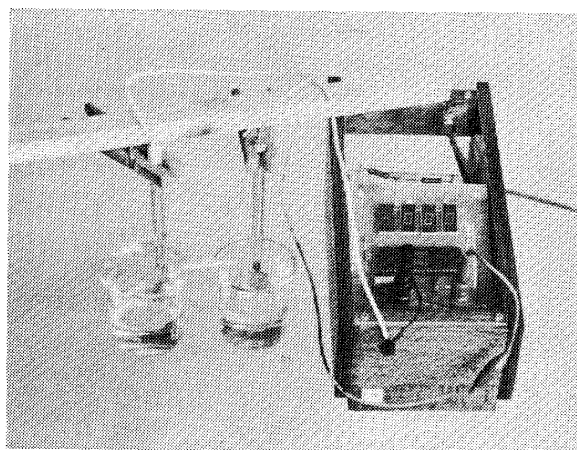
特に医学部進学課程の学生にとっては、イオン濃度差に起因する起電力は、電気生理学の基礎の一つでもあり、化学熱力学の講義との関連においても、よく理解しておいて欲しい現象である。

5. 電子機器化の結果

各種の電気化学的現象の実験室的な測定では、電圧(又は電流)の測定が被測定物に影響を与えないように、いわゆる補償法を用いて、ホイートストン・ブリッジ(あるいはポテンシオメーター)を使って、比較対象とする標準電池の起電力と比べながら抵抗線(又は抵抗器)を加減してゆき、電流の流れなくなる点を探してゆく方法をとるのが普通である。このような測定法の概念図を第4図に示しておく。これは抵抗器を加減して行くという面で手間がかかる上、何よりも電流の流れない点を見付けるという方法の必然的な結果として高感度の電流計(ガルバノメーター)を使わねばならず、この電流計は高感度であるために僅かに電流を流しすぎても断線してしまって、少しの誤操作が直ちにガルバノメーターを破損させるので、実習者に細心の注意が要求されると同時に、



第4図 ホイートストンブリッジの原理。



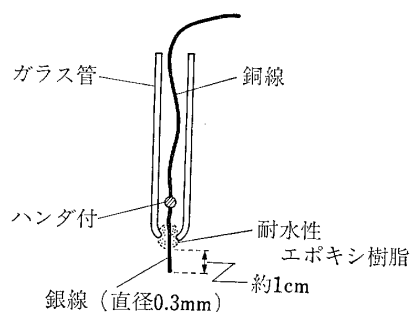
第5図 イオン濃淡電池と、その起電力の測定装置。

指導する側でもガルバノメーターの故障と、さらに実験中の溶液の漏溢などに起因する抵抗線の損傷が悩みの種であった。

これに対して、起電力の測定に計数型電圧計を用いるというだけの、ごく簡単な電子機器化を行なうと、測定装置の全体も第5図に示すように、ほとんど測定原理の図そのままのものとなって分り易くなる上、起電力は直ちに数字で読みとることができるようになる。またこの際、使用される計数型電圧計は前述のとおり十分に高い内部抵抗をもっているためにイオン濃淡電池の起電力に影響を及ぼすことがなく、また破損することもなく、気楽に実習実験の課題として採用できるようになった。

第1表 銀電極：硝酸銀溶液を用いたイオン濃淡電池の起電力の測定例（学生レポートから）。

溶液濃度 (N)		起電力 (mV)		誤差
C ₁	C ₂	測定値 (室温)	理論値 (25°C)	
1/10	1/30	22~27	25	8%以下
1/10	1/100	54~58	53	10%以下
1/10	1/300	82~90	80	9%以下
1/100	1/1,000	29	42	30%
1/100	1/5,000	51	58	12%
1/500	1/5,000	58	77	45%



第6図 銀電極。

6. まとめと問題点

上記のような利点を活用して、1979年前期以来、イオン濃淡電池の測定を実習実験の課題の一つに組みこんでいる。実際には、電極には銀(Ag)を、電解質には硝酸銀(AgNO₃)を用いている。いずれも入手しやすい物質であるし、電極も第6図に示すように、ごく少量の市販の銀線を用いた手作りのもので十分間に合っている。

参考として、実習実験あるいは担任セミナーのレポートから、学生自身が測定した値の例を第1表にかかげる。大部分は理論値どおりの値を得ているが、大きな誤差を含むものもいくつか見られる。誤差の大きな原因は濃度の低い溶液を用いた場合に多く、学生たちの液の希釈の技術の未熟と、水道水などから混入してClイオンによってAgClの沈澱が生じ、溶液のイオン濃度に少なからぬ影響を与えてしまうためと考えられる。

0.01N程度の溶液を用いる限りでは、誤差は数%以下にとどめられるが、1/5,000Nというような稀薄な液を使用させている場合があるのは、こ

の実験を実習の課題として設定した直後に銀および銀化合物の価格が暴騰し、予定以上に薬品費のかかる課題になってしまいそうになったのを、使用する溶液の濃度を薄くして費用の節約をはかった例があるためである。

実習実験として、この実験をすでに2年行ったが、その間指導する側から見て感じている問題点は次の2点である。すなわち、

(1) 電子機器化によって、余りにも簡単な測定となってしまうため、実習実験が手間がかからず手早く終わってしまって、学生の感銘が乏しくなっているのではないかな。

(2) 薬品費の節約のためには、AgCl 電極を使用し、NaCl (又は KCl) についてのイオン濃淡電池とすれば、安く、かつ精度のより良い測定が可能となる。しかし、こうすると後日専門課程で行なう生理学の実習に余りにも似てきてしまうのではないかと心配がある。

(1)の電子機器化によって、操作が余りにも簡単になりすぎることは、他にも多くの例のあることで、この是非善悪については簡単には評価できないものであろう。これらを教育上どう受けとめるかについては、諸先生方の御意見を伺わせて頂きたい。また(2)の専門課程との兼ね合いについても、われわれとしては判断に苦しむ問題であって、是非、専門課程の先生方の御助言を伺う機を得たいものと考えている。

おわりに

進学課程で行なう化学実習実験の課題のいくつかについて電子機器化を試みた結果のうちの一つを報告した。今回用いた計数型電圧計はキットを購入すれば一組一万円を少しこえる程度の器具費で、本学オリジナルの課題を設定することができて、以後故障もなく、ほぼ順調に実習課題の役割を果たし続けている。

これはまず担任セミナーにおいて、数人の学生諸君に実習実験の課題とする際の問題点の発見と、その解決法まで含めて、いろいろ工夫しながら

らくり返し試みて貰った上で実習の課題にくみ入れたものである。その間、担任セミナーで協力してくれた学生諸君の氏名を末尾に掲げて感謝の意を表す。また、このような経過を辿ったため、担任セミナーの費用で支弁した機器が、以後そのまま実習実験に用いられていて、実習の費用の一部まで担任セミナー費が役立ってしまった結果となった。この意味をもこめて、担任セミナーの費用の出所に対しても厚く御礼を申し上げる。また最後になってしまったが、新しい実習課題の開発と採用については、化学教室の全員、とくに吉田喜太郎氏にお世話になったことを記し、深く感謝する。(1982年3月30日受理)

追記

イオン濃淡電池の起電力の測定に、計数型電圧計を利用することは、特に医学部進学課程に限らず、他学部においても採用して十分に意味のあることであろう。

また、計数型電圧計には各種の型のものがあり2～3万円の費用を支弁すれば、キットを組み立てる手間がかからず直ちに使えるものが入手できて、他にもいろいろの応用法が考えられよう。ただし、これらの電圧計は(本論で紹介したものを含めて)電子回路が測定に数分の一秒の時間を使っているため、早い変化の現象の追跡には不向きであることを附記しておく。

担任セミナーでの協力学生の氏名

1977年度前期：飯塚義浩，上田二郎，大久保雄彦，高橋信仁，手島多佳子，長島律子，松本国子。

白田一紀，大内陽，加藤恒子，坂田憲夫，坂本彰子，春藤俊一郎。

1977年度後期：永田利文，比企太郎，三好明裕，村井秀昭，森淳史，森田雅和，渡辺哲。

参考文献

- 1) 例えば、鯨島「物理化学実験法」増補版(1980年)裳華房。
- 2) 例えば、D. H. アンドリュース(竹内他訳)「物理化学—生命科学へのアプローチ」(1972年)広川書店。上巻 pp. 424～427。